

VERIFICATION OF A TRANSLATION
(VERIFICATION D'UNE TRADUCTION)

I, the below named translator, hereby declare that :

My name and post office address are as stated below :

That I am knowledgeable in the English language and in the language in which the below identified international application was filed, and that I believe the English translation of the international application n° PCT/ FR 92/00898 is a true and complete translation of the above identified international application as filed.

I hereby declare that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true ; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code and that such wilful false statements may jeopardize the validity of the application or any patent issued thereon.

Date 21 May 1993

Full name of the translator TARVIS, DEREK
(Nom et prénom du traducteur)

Signature of the translator Derek Jarvis
(Signature du traducteur)

Post Office Address (Adresse postale) 7, rue d'Alsace
..... 67000 Strasbourg

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

<p>(51) Classification internationale des brevets ⁵ : C12N 15/86, A61K 48/00 C12N 15/12, 9/68</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Numéro de publication internationale: WO 93/06223 (43) Date de publication internationale: 1er avril 1993 (01.04.93)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR92/00898 (22) Date de dépôt international: 25 septembre 1992 (25.09.92) (30) Données relatives à la priorité: 91/11947 27 septembre 1991 (27.09.91) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) [FR/FR]; 15, quai Anatole-France, F-75007 Paris (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): PERRICAUDET, Michel [FR/FR]; 20, résidence du Moulin, F-28150 Ouarville (FR). BRIAND, Pascale [FR/FR]; 10, rue du Docteur-Roux, F-75015 Paris (FR). STRATFORD-PERRICAUDET, Leslie [FR/FR]; 20, résidence du Moulin, F-28150 Ouarville (FR).</p>	<p>(74) Mandataires: GUTMANN, Ernest etc.; Ernest Gutmann-Yves Plasseraud S.A., 67, boulevard Haussmann, F-75008 Paris (FR). (81) Etats désignés: AU, CA, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, SE). Publiée Avec rapport de recherche internationale. Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si de telles modifications sont reçues.</p>	

(54) Title: VIRAL RECOMBINANT VECTORS FOR EXPRESSION IN MUSCLE CELLS

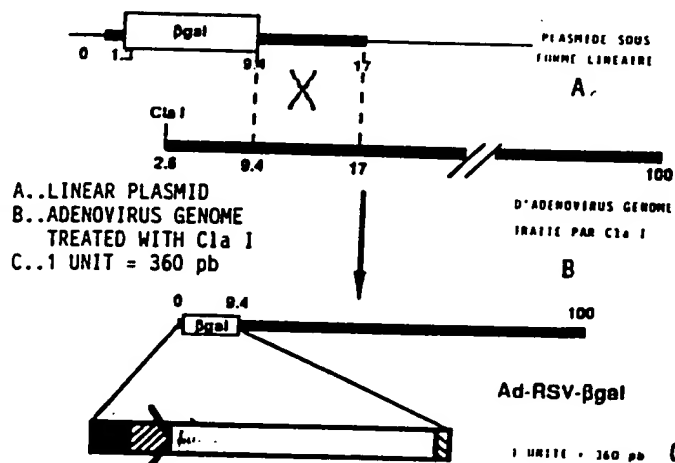
(54) Titre: VECTEURS RECOMBINANTS VIRAUX POUR L'EXPRESSION DANS DES CELLULES MUSCULAIRES

(57) Abstract

Non-replicable viral recombinant vectors which are recognizable by muscle cell receptors, and furthermore modified by an insertion nucleic acid coding for a polypeptide sequence to be expressed in said muscle cells, are used to obtain a drug for treating muscle cell diseases or diseases which, by virtue of their location in the body, are accessible to the products of the expression of the above mentioned nucleotide sequence, as secreted by said muscle cells. A method for producing said vectors, vectors such as those described above, and their use in pharmaceutical compositions are also provided.

(57) Abrégé

L'invention concerne l'utilisation de vecteurs recombinants d'origine virale, non répliquables, et susceptibles d'être reconnus par les récepteurs de cellules musculaires, ces vecteurs étant en outre modifiés par un acide nucléique d'insertion codant pour une séquence polypeptidique dont l'expression dans lesdites cellules musculaires est recherchée, pour l'obtention d'un médicament destiné au traitement de pathologies affectant les cellules musculaires ou de pathologies dont la localisation dans l'organisme les rendent accessibles aux produits de l'expression de la séquence nucléotidique sus-mentionnée secrétée par lesdites cellules musculaires. L'invention concerne également un procédé d'obtention de ces vecteurs, et des vecteurs tels que décrits ci-dessus et leur utilisation dans des compositions pharmaceutiques.





VECTEURS RECOMBINANTS VIRAUX POUR L'EXPRESSION DANS DES CELLULES MUSCULAIRES

L'invention concerne des vecteurs recombinants d'origine virale comportant une séquence nucléotidique codant pour un polypeptide déterminé, et leur utilisation pour l'expression de ce polypeptide dans des cellules musculaires. L'invention vise également un procédé d'obtention de ces vecteurs, ainsi que leurs applications, notamment en tant que médicaments dans le domaine des pathologies musculaires.

Le problème, non résolu jusqu'à maintenant, de la diffusion directe d'un gène vers un tissu spécifique, fait obstacle au développement de la thérapie génique dans le domaine des maladies musculaires.

Les diverses tentatives de modification du tissu musculaire réalisées jusqu'à ce jour sont principalement celle de la fusion de cellules musculaires avec un muscle hôte (Salminen, A., et al., Hum. Gene Ther. 2, 15-26 (1991); Partridge, T.A., et al., Nature 337, 176-179 (1989)), et celle procédant par injection d'ADN directement dans les muscles (Wolff, J.A. et al. Science 247, 1465-1468 (1991); Acsadi, G., New Biol. 3, 71-81 (1991)).

La méthode procédant par fusion, chez des souris, de précurseurs de cellules musculaires provenant d'un donneur normal, avec des fibres musculaires d'un hôte (Partridge, T.A., et al. cité ci-dessus) a été réalisée avec succès et cette thérapie cellulaire a fait l'objet d'essais préliminaires chez des enfants. Toutefois, cette approche semble présenter trop d'inconvénients pour être applicable au traitement de pathologies musculaires. En effet, les capacités de

migration de ces précurseurs de cellules étant réduites à quelques millimètres, l'implantation cellulaire de ces derniers nécessiterait des millions d'injections pendant des heures d'anesthésie. De manière inévitable, des problèmes immunologiques, conduisant à des phénomènes de rejet, risqueraient d'apparaître, comme dans le cas de nombreuses greffes. De plus le traitement de la dystrophie musculaire de Duchenne (DMD) nécessite non seulement d'atteindre les muscles du squelette, mais également les cellules myocardiques; on imagine aisément les difficultés susceptibles d'être rencontrées pour implanter des précurseurs de cellules musculaires dans le myocarde. La thérapie cellulaire semble par conséquent peu appropriée pour le traitement de cellules malades présentant une telle dissémination dans l'organisme .

La thérapie génique par introduction directe in vivo d'acides nucléiques à l'intérieur d'organes, est une méthode attrayante en raison de sa simplicité, mais dont le développement se heurte à un certain nombre d'obstacles. En particulier, l'expression de gènes dans les muscles reste localisée au point d'injection (Wolff, J.A., et al. cité ci-dessus) et semble être assez limitée dans le temps, particulièrement dans le muscle cardiaque (Acsadi, G. et al., cité ci-dessus).

Le but de la présente invention est précisément de permettre l'introduction d'un très grand nombre d'acides nucléiques dans un nombre important (jusqu'à 50 % et plus) de cellules musculaires d'un organisme humain ou animal, que ces cellules musculaires soient celles des muscles du squelette ou encore celles du myocarde.

La présente invention a plus particulièrement pour but de permettre l'acheminement de ces acides nucléiques vers les cellules musculaires cibles par la

circulation sanguine, tout en protégeant ces acides nucléiques de l'agression de divers constituants sanguins.

Un autre but de la présente invention est de mettre à la disposition du public des compositions pharmaceutiques permettant le traitement des maladies musculaires, et plus particulièrement des pathologies génétiques du système musculaire, ou encore de pathologies dont la localisation dans l'organisme les rendent accessibles aux produits de l'expression des acides nucléiques sus-mentionnés, ces produits étant sécrétés par lesdites cellules musculaires.

La présente invention découle de la découverte faite par les inventeurs, du fait que l'on retrouve l'activité β -galactosidase dans de nombreux tissus après injection à des souris de vecteurs recombinants d'origine virale, plus particulièrement d'adénovirus, dans le génome desquels a été inséré le gène codant pour la β -galactosidase. Parmi ces tissus, on peut citer les poumons, le foie, l'intestin, le coeur et les muscles du squelette. L'expression du gène de la β -galactosidase est constante dans le temps, puisque la proportion des cellules de couleur bleue (coloration obtenue à la suite de l'expression de ce gène) dans le tissu musculaire est à peu près équivalente d'un mois à un autre.

La figure 1 représente un exemple de construction d'un vecteur recombinant selon l'invention et correspondant à l'adénovirus de type Ad5 dans le génome duquel est inséré le gène de la β -galactosidase sous le contrôle du promoteur RSV.

La présente invention a pour objet l'utilisation de vecteurs recombinants d'origine virale, non répliquables, et susceptibles d'être reconnus par les récepteurs de cellules musculaires, humaines ou animales, infectables par ces virus, ces vecteurs

étant en outre modifiés par un acide nucléique d'insertion contenant une séquence nucléotidique codant pour une séquence polypeptidique dont l'expression dans lesdites cellules musculaires est recherchée, cette séquence étant sous le contrôle d'un promoteur reconnu par les polymérases de ces cellules, pour l'obtention d'un médicament administrable par la voie générale, notamment intra-veineuse ou intra-artérielle, et destiné au traitement de pathologies affectant les cellules musculaires ou de pathologies dont la localisation dans l'organisme les rendent accessibles aux produits de l'expression de la séquence nucléotidique sus-mentionnée et secrétés par lesdites cellules musculaires.

Les adénovirus, notamment les adénovirus humains de type 2 ou 5 représentent des vecteurs particulièrement préférés dans le cadre de la présente invention, en raison notamment de la grande taille du fragment d'ADN étranger qu'il est possible d'insérer dans le génome de ces virus.

Avantageusement, l'acide nucléique d'insertion sus-mentionné est compris dans un génome défectif d'adénovirus, ce génome étant dépourvu de séquences essentielles nécessaires à la répllication de ces adénovirus, et plus particulièrement des transactivateurs EA et EB; ce génome comprend néanmoins préférentiellement l'ensemble de celles des séquences essentielles nécessaires à l'encapsidation de ces adénovirus.

Le promoteur mis en oeuvre peut être un promoteur endogène (par exemple un promoteur précoce ou tardif de l'adénovirus utilisé) ou exogène.

On aura avantageusement recours à l'utilisation de promoteurs forts, par exemple ayant une force de l'ordre de grandeur du promoteur contenu dans le LTR (Long Terminal Repeat) de RSV (Rous Sarcome Virus).

A titre d'exemples d'autres promoteurs dont l'utilisation peut être envisagée, on mentionnera :

- le promoteur du gène IE de CMV (cytomégalovirus)
- les promoteurs inductibles MMTV (Mouse Mammary Tumor Virus) ou métallothionine.

La force du promoteur utilisable peut être appréciée dans des essais semblables à ceux qui sont décrits dans les exemples qui suivent, par exemple par substitution dans les vecteurs de ces exemples du promoteur étudié au promoteur contenu dans le LTR de RSV et par l'évaluation de l'intensité d'expression du marqueur obtenu, intensité qui peut alors être comparée à celle obtenue avec le promoteur de LTR de RSV.

La quantité de vecteurs administrée dans l'organisme est avantageusement choisie de manière à déborder le système immunitaire de l'organisme dans lequel ils sont injectés.

Avantageusement la voie d'administration choisie dans le cadre de la présente invention est la voie intra-veineuse ou intra-artérielle.

Parmi les pathologies affectant des cellules musculaires sus-mentionnées, on peut citer des pathologies génétiques telles que la dystrophie musculaire.

A ce titre l'acide nucléique inséré dans le génome du vecteur viral, et dont est recherchée la diffusion dans la masse musculaire, comprend un séquence nucléotidique codant pour un polypeptide susceptible de traiter la pathologie en question, et plus particulièrement de jouer le rôle dans la cellule musculaire du polypeptide normalement présent dans une cellule saine, mais dont la déficience est due soit à une production anormalement faible, voire nulle, de ce polypeptide, soit à une erreur dans sa séquence en

acides aminés résultant d'anomalies d'ordre génétique dans sa séquence nucléotidique codante.

Des vecteurs, selon l'invention, utilisés pour l'obtention d'un médicament destiné au traitement de la dystrophie musculaire, sont plus particulièrement caractérisés en ce que l'acide nucléique d'insertion est constitué de tout ou partie d'un gène sain de la dystrophine. L'introduction du gène entier de la dystrophine, ou encore de toute partie de ce gène codant pour un polypeptide conservant une activité comparable à celle de la protéine entière, peut être réalisée suivant une méthode identique à celle décrite ci-après pour l'introduction du gène de la β -galactosidase.

A titre d'exemple de pathologies autres que les pathologies musculaires, susceptibles d'être traitées dans le cadre de la présente invention, on peut citer les thromboses à l'origine des infarctus ou encore des phlébites.

Des vecteurs selon l'invention utilisés pour l'obtention d'un médicament destiné au traitement des thromboses et à la prévention des infarctus et des phlébites, sont plus particulièrement caractérisés en ce que l'acide nucléique d'insertion comprend une séquence nucléotidique codant pour une substance thrombolytique. Cette dernière séquence est avantageusement précédée d'une séquence signal codant pour un peptide, signal assurant la sécrétion de la substance thrombolytique hors de la cellule musculaire.

L'invention vise également tout vecteur recombinant caractérisé en ce qu'il est constitué du génome défectif d'un adénovirus, comprenant néanmoins l'ensemble de celles des séquences essentielles nécessaires à l'encapsidation de cet adénovirus, et dans lequel est inséré un acide nucléique recombinant

dont est recherchée la diffusion dans la masse musculaire, cet acide nucléique étant placé sous le contrôle d'un promoteur susceptible d'être reconnu par les polymérases des cellules musculaires, notamment le promoteur fort de la région précoce E1A du génome des adénovirus.

Un vecteur recombinant préféré de l'invention est caractérisé en ce que cet acide nucléique recombinant est constitué de tout ou partie du gène de la dystrophine.

L'invention concerne également des compositions pharmaceutiques comprenant un ou plusieurs vecteurs recombinants tels que décrits ci-dessus, en association avec un véhicule pharmaceutiquement acceptable.

L'invention a également pour objet un procédé d'obtention des vecteurs recombinants décrits ci-dessus qui comprend après l'étape de construction proprement dite de ces vecteurs par introduction de l'acide nucléique d'insertion dans leur génome, une étape de transformation de lignées cellulaires transformables d'eucaryotes supérieurs (notamment d'origine humaine ou animale) comportant elles-mêmes une séquence distincte de nucléotides apte à compléter la partie du génome de l'adénovirus essentielle pour la réplication de ce dernier et dont le susdit vecteur est dépourvu, ladite séquence distincte étant de préférence incorporée au génome des cellules de ladite lignée cellulaire.

A titre d'exemple préféré de telles lignées cellulaires, on mentionnera la lignée 293, lignée de rein embryonnaire humain qui contient, intégrés dans son génome, les onze premiers pourcents de l'extrémité gauche du génome d'un Ad5. Ceux-ci permettent de compléter des virus recombinants défectifs qui portent des délétions de cette région. Un tel procédé

d'obtention est plus particulièrement décrit dans la demande de brevet européen n° 0 185 573 du 20/11/85.

Après transformation de ces lignées cellulaires, les vecteurs qui se sont ainsi multipliés sont récupérés et purifiés.

La présente invention sera plus particulièrement illustrée à l'aide de la description détaillée qui suit de la construction d'adénovirus vecteurs recombinants comportant le gène codant pour la β -galactosidase, et des propriétés de cet adénovirus vecteur.

1. Construction de l'adénovirus recombinant, Ad-RSV- β gal, par recombinaison in vivo.

Cet adénovirus recombinant a été construit par recombinaison homologue entre un plasmide approprié et le génome de l'adénovirus de type 5 (Ad5). Dans cette construction, le gène de la β -galactosidase est placé sous le contrôle du promoteur RSV (Rous Sarcoma Virus). Le plasmide pAdRSV β gal utilisé contient le segment PvuII de l'extrémité gauche de l'Ad5 (segment situé entre les positions 0 et 1,3 du plasmide sur la figure 1) comprenant la répétition terminale intervertie, l'origine de répllication, des signaux d'encapsidation, et l'amplificateur Ela. Ce fragment est suivi par un gène nls lacZ (décrit dans Bonnerot, C. et al., Proc. natn. Acad. Sci. USA, 1987, 84, 6795-6799) codant pour la β -galactosidase, et par un fragment de l'adénovirus Ad5 situé entre les positions 9,4 et 17 du plasmide de la figure 1.

Les valeurs des positions 1,3, 9,4 et 17 indiquées ci-dessus sont des unités indiquant le nombre de paires de base comprises à l'intérieur de ces fragments, une unité représentant 360 paires de base.

La séquence d'Ad5 située entre les positions 9,4 et 17 sus-mentionnées permet la recombinaison avec

l'adénovirus dl324 traité par l'enzyme de restriction ClaI (correspondant à un mutant de délétion E3; la délétion étant effectuée entre les positions 78,4 et 84,3 du génome de l'adénovirus représenté sur la figure 1), après transfection de cellules 293 (cellules embryonnaires humaines de rein transformées par l'adénovirus et mentionnées ci-dessus) afin de générer le vecteur recombinant Ad-RSV- β gal. Le gène nls lacZ est contrôlé par le promoteur RSV LTR et possède le signal de polyadénylation du virus SV40. Le virus recombinant ainsi obtenu est incapable de se répliquer en raison de la délétion des gènes E1.

2. Etude du transfert du gène par l'intermédiaire de l'adénovirus aux organes de souris.

Des souris Balb/C âgées de 4 jours ont subi une injection intra-veineuse de 20-40 microlitres d'adénovirus recombinants hautement purifiés, Ad-RSV- β gal (10^9 unités formant des plages : UFP/ml) les organes ont été prélevés 15 jours après injection et traités avec du paraformaldéhyde 4% dans un tampon phosphate pendant 30 minutes. Après rinçage les organes ont été incubés pendant une nuit à 30°C dans une solution X-gal. Les organes entiers ont ensuite été congelés et préparés de manière appropriée pour effectuer des cryosections (de 10 micromètres d'épaisseur), sections qui ont été colorées à l'aide d'hématoxyline et d'éosine.

La mise en évidence par coloration histochimique de la manière indiquée ci-dessus de l'activité β -galactosidase sur les sections effectuées indique la présence dans les cellules des organes prélevés du gène inséré dans l'adénovirus vecteur.

L'examen macroscopique du coeur ainsi que des muscles du squelette prélevés sur ces souris traitées, révèle la grande efficacité avec laquelle a été effectué ce transfert de gène après seulement une

injection de l'adénovirus recombinant. L'intérêt du choix de la voie intraveineuse réside dans le fait que le vecteur viral n'est pas concentré dans une zone quelconque du tissu musculaire mais au contraire qu'il est favorablement dispersé dans l'ensemble de la masse musculaire. La coloration histochimique permet d'estimer que le nombre de cellules transformées atteint dans certaines zones 50 % du nombre de cellules musculaires présentes dans cette zone.

L'expression de la β -galactosidase dans le myocarde ainsi que dans les muscles du squelette est parfaitement stable. Des colorations positives ont pu être observées 15, 33, 55, 66, 90, 127 et 150 jours après l'injection de l'adénovirus recombinant. L'expression du gène semble constante en fonction du temps, puisque la proportion de cellules bleues dans les tissus musculaires semblent à peu près équivalente d'un mois à l'autre.

L'analyse de fibres musculaires isolées révèle qu'une seule fibre est susceptible de présenter de nombreux "centres d'expression".

Des analyses par immunotransfert (Southern) réalisées à partir du coeur d'une souris traitée ont permis de mettre en évidence une bande intense et unique correspondant à 35 Kpb indiquant que l'ADN viral introduit dans les cellules musculaires est essentiellement extrachromosomique.

REVENDEICATIONS

1. Utilisation de vecteurs recombinants d'origine virale, non répliquables, et susceptibles d'être reconnus par les récepteurs de cellules musculaires, humaines ou animales, infectables par ces virus, ces vecteurs étant en outre modifiés par un acide nucléique d'insertion contenant une séquence nucléotidique codant pour une séquence polypeptidique dont l'expression dans lesdites cellules musculaires est recherchée, cette séquence étant sous le contrôle d'un promoteur reconnu par les polymérases de ces cellules, pour l'obtention d'un médicament administrable par la voie générale, notamment intra-veineuse ou intra-artérielle, et destiné au traitement de pathologies affectant les cellules musculaires ou de pathologies dont la localisation dans l'organisme les rendent accessibles aux produits de l'expression de la séquence nucléotidique sus-mentionnée secrétés par lesdites cellules musculaires.

2. Utilisation de vecteurs selon la revendication 1, caractérisée en ce que ces vecteurs sont choisis parmi les adénovirus défectifs dont les génomes sont dépourvus de séquences essentielles nécessaires à la réplication de ces adénovirus, et plus particulièrement des transactivateurs EA et EB.

3. Utilisation de vecteurs selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisée en ce que l'acide nucléique d'insertion est compris dans un génome défectif d'adénovirus comprenant néanmoins l'ensemble de celles des séquences essentielles nécessaires à l'encapsidation de ces adénovirus.

4. Utilisation de vecteurs selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que l'acide nucléique d'insertion est constitué de tout ou partie d'un gène sain de la dystrophie.

5. Utilisation de vecteurs selon l'une des revendications 1 à 4, pour l'obtention d'un médicament destiné au traitement de la dystrophie musculaire de Duchenne.

6. Utilisation de vecteurs selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 pour l'obtention de médicaments pour le traitement de maladies cardiaques, caractérisée en ce que l'acide nucléique d'insertion code pour une protéine ou un polypeptide ayant des propriétés thrombolytiques.

7. Vecteur recombinant caractérisé en ce qu'il est constitué du génome déficient d'un adénovirus, comprenant néanmoins l'ensemble de celles des séquences essentielles nécessaires à l'encapsidation de cet adénovirus, et dans lequel est inséré un acide nucléique recombinant dont est recherchée la diffusion dans la masse cardiaque, cet acide nucléique étant placé sous le contrôle d'un promoteur susceptible d'être reconnu par les polymérases des cellules musculaires, notamment le promoteur fort de la région précoce E1A du génome des adénovirus.

8. Vecteur recombinant selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'acide nucléique d'insertion code pour une protéine ou un polypeptide ayant des propriétés thrombolytiques.

9. Composition pharmaceutique comprenant un vecteur recombinant selon la revendication 7 ou la revendication 8, en association avec un véhicule pharmaceutiquement acceptable.